

トルコギキョウ新品種「秋試交1号」「秋試交2号」育成に あたり解明した花色・花形の遺伝様式とF1の組合せ

間藤正美・佐藤孝夫・檜森靖則・柴田 浩・浅利幸男

The clarification of the inheritance on flower colors
and flower types for breeding of lisianthus,
“Akishiko-1” and “Akishiko-2”

Masami MATO, Takao SATO, Yasunori HIMORI,
Hiroshi SHIBATA and Yukio ASARI

目 次

I 緒 論	1	III 「秋試交2号」育成に当たり解明した 花色・花形の遺伝様式およびその組合せ	7
II 「秋試交1号」育成に当たり解明した 花色の遺伝様式およびその組合せ	2	1. 緒 言	7
1. 緒 言	2	2. カロチノイド生合成の遺伝様式と 黄味ピンク色花F1の組合せ	7
2. アントシアニン生合成の遺伝様式 およびF1親の候補	2	3. 八重咲の遺伝様式と「秋試交2号」 の組合せ	8
3. 覆輪形成の遺伝様式およびF1親の選抜	3	IV 総合考察	10
4. フラボノイドB-環水酸化の遺伝様式 およびF1親の選抜	4	V 摘 要	10
5. クロロフィル生合成の遺伝様式および 「秋試交1号」の組合せ	6	引用文献	11
		Summary	12
		写 真	13

I 緒 論

秋田県では昭和61年からトルコギキョウの生産が本格化し、夏季冷涼な気候を利用した夏秋出荷栽培が盛んである。トルコギキョウの生産額は平成元年以降急速に伸び、キク、ユリについで3番目の作目となっている。しかし、近年トルコギキョウの単価は、他県との競合や生産量の増加により低迷している。一方、全国的にはこのような状況下でも市販品種にない花色の

チョコレート色花や市販品種の2色の覆輪とは色目が逆の赤地に白などの覆輪花を独自に育種して、高単価を得ている生産者がいる。そのため、秋田県では、高単価の見込める希少価値のある品種や、気象立地に適した収量性の高い品種の育成に取り組んでいる。出荷する市場、時期、年度により、好まれる花色が異なることを想定し、育種の際は花色のシリーズ化も併せて

進めている。

トルコギキョウの花色に関する研究は近年急速に進展し、ピンク色花、赤紫色花、紫色花、藤色花の花色発現にフラボノイド花色素のアントシアニンの水酸化程度が関与すること^{1,2)}、紫外光を用いた生花卉のフラボノイド検出法が開発されたこと³⁾、覆輪形成にフラボノイド生合成が抑制されていること^{4,5)}、黄色花の花色発現にカロチノイドが関与している品種がある

ことなどが報告されている⁶⁾。しかし、これらの報告は育種にあまり活用されていないのが現状である。

トルコギキョウの品種は近年生育旺盛なF1が主流となっており、生産者もF1にあった栽培をしている。そこで我々は、希少価値のある品種や気象立地に適した品種の育成、花色シリーズ化をF1で行うこととした。ここではF1品種の育成にあたって解明した花色、花形の遺伝様式、およびその組合せについて述べる。

II 「秋試交1号」の育成にあたり解明した花色の遺伝様式およびその組合せ

1. 緒言

トルコギキョウの花色は、紫、赤紫、ピンク、藤のアントシアニンを含むシアニックと黄、白、黄緑のアントシアニンを含まないアシアニック、これら単色花以外に白地に紫の覆輪、白地にピンクの覆輪、黄緑地に紫の覆輪、黄地にピンクの覆輪が市販されている。

秋田農試ではアシアニック花として黄緑花の自殖系統が平成9年から維持されてきたことから、県の気象立地に適し、F1の片親候補と判断した。黄緑地で市販にないものとしてピンクの覆輪花を目標とし、黄緑花の維持系統と白地にピンクの覆輪花色の組合せで、F1品種「秋試交1号」の育成を花色のシリーズ化も念頭に置きながら検討した。

花色のシリーズ化をF1で行うには片親を劣性形質の花色とし、もう一方の親に様々な花色を組合せることで可能と考える。そこで、F1の組合せを効率的に決定するために、黄緑地にピンクの覆輪花の花色に関わるアントシアニン生合成、覆輪形成、フラボノイドの水酸化およびクロロフィル生合成に関わる遺伝様式を明らかにする必要がある。

2. アントシアニン生合成の遺伝様式およびF1親の候補

白色花はアントシアニンを欠損し、フラボノイド花色素のフラボノールにより花色発現し⁷⁾、ロイコアントシアニンからアントシアニンの過程が閉鎖されている系統、ジヒドロフラボノールからアントシアニンの過程が制御されている系統が報告されている⁸⁾(図1)。

黄および黄緑色花もアントシアニンを欠損しており、アシアニック花はシアニック花に対してアントシアニン生合成に関わる遺伝子に関して劣性形質と推定されたため、アシアニック花とシアニック花を交雑し、ア

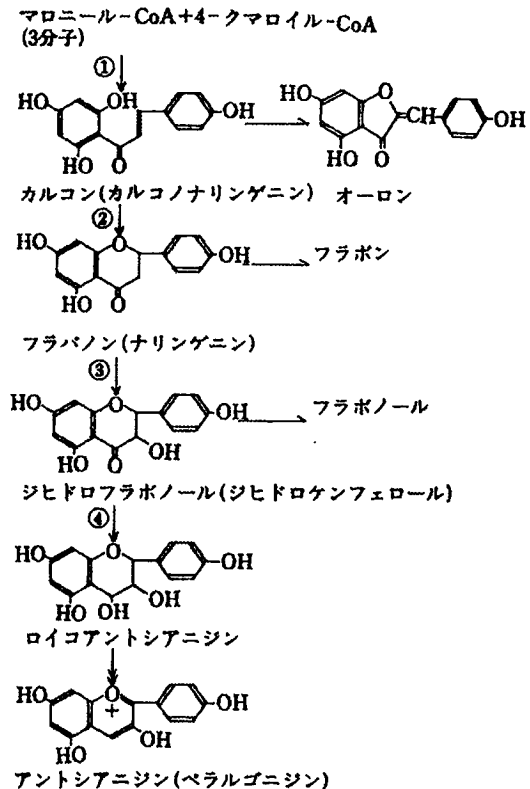


図1 アントシアニン生合成経路

①カルコンシンターゼ(CHS)、②カルコンフラバノイソメラーゼ(CHI)、③フラバノン 3-ヒドロキシラーゼ(F3H)、④ジヒドロフラボノール 4-レダクターゼ(DFR)

ントシアニン生合成の遺伝様式を検討した。

1) 材料および方法

アシアニック花には、黄、白および黄緑色花を用い、シアニック花には、ピンク、赤紫および紫色花を用いた。

アシアニック花とシアニック花で交雑し、F1およ

びF2の分離比をX²検定で分析した。

2) 結果および考察

交雑の結果、F1はシアニック花のみ出現し、F2でシアニック花とアシアニック花がほぼ3:1に分離

した(表1)。従って、アシアニック花はアントシアニン生合成遺伝子に関して劣性形質であることが明らかにになり、当场維持系統の黄緑色花も「秋試交1号」の片親候補になると考えられた。

表1 交雑後代の分離比

花色系統	後代の花色		検定した分離比	X ² 値 ^Z	確率
	シアニック:アシアニック	シアニック:アシアニック			
アシアニック×シアニックF1	28:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	27:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	20:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	20:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	24:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	30:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	16:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	29:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	28:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	23:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	29:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	11:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
アシアニック×シアニックF1	21:0	1:0	1:0	0.00000	P=1.00
シアニックF2	21:5	3:1	3:1	0.46154	0.25<P<0.50
シアニックF2	14:6	3:1	3:1	0.26667	0.50<P<0.75
シアニックF2	16:5	3:1	3:1	0.01587	0.90<P<0.95
シアニックF2	21:7	3:1	3:1	0.00000	P=1.00
シアニックF2	23:5	3:1	3:1	0.76190	0.25<P<0.50
シアニックF2	23:5	3:1	3:1	0.76190	0.25<P<0.50
シアニックF2	23:6	3:1	3:1	0.28736	0.25<P<0.50
シアニックF2	20:7	3:1	3:1	0.01235	0.90<P<0.95
シアニックF2	19:9	3:1	3:1	0.76190	0.25<P<0.50
シアニックF2	22:10	3:1	3:1	0.66667	0.25<P<0.50
シアニックF2	20:9	3:1	3:1	0.59322	0.25<P<0.50
シアニックF2	24:7	3:1	3:1	0.09517	0.75<P<0.90
シアニックF2	19:8	3:1	3:1	0.30642	0.50<P<0.75

Z カイ平方値

3. 覆輪花形成の遺伝様式およびF1親の選抜

覆輪花は着色部でのみアントシアニンが蓄積し、白色部ではCHS(カルコンシンターゼ)遺伝子の転写抑制によりフラボノイドが蓄積しないことが報告されているが、覆輪形成の遺伝様式は明らかにされていない^{4,5)}(図1)。

そこで、単色花と覆輪花の交雑、自殖を行い覆輪形成の遺伝様式を検討した。

1) 材料および方法

覆輪花には白地にピンクの覆輪花および白地に紫の

覆輪花を用い、単色花にはピンク、赤紫および紫色花を用い、F1の分離比と同時に母親および父親の自殖後代の分離比を調査した。

アシアニック花には黄緑色花を用い、紫外線光下で観察した。

2) 結果および考察

単色花と覆輪花の交雑、自殖を行った結果、F1の覆輪花は、固定した覆輪花を片親に組合せれば、もう一方の親が覆輪花、単色花に関わらずほぼ100%出現し、F1の単色花は両親とも単色花の組合せのみ100

%出現した(表2)。覆輪の遺伝様式は良く分からないが、覆輪花では部位特異的にCHS遺伝子を転写抑制する優性の遺伝子の存在が示唆される(図1)。

従って、アジアニック花にも覆輪と単色が存在すると考えられるが、可視光下では区別ができない。しかし、紫外光下では、花卉先端のみフラボノイドが蓄積

し、先端のみ黒く見える覆輪花と花卉全体にフラボノイドが蓄積し、全体が黒く見える単色花に分類できる⁹⁾(図2)。そこで、「秋試交1号」の片親は、黄緑花のうち紫外光下で花卉全体が黒く見える単色花が適すると考え、これを選抜した。

表2 交雑・自殖後代の花色発現

花色系統 ♀×♂	F1の花色 覆輪:単色	♀後代の花色 覆輪:単色	♂後代の花色 覆輪:単色
単色花×覆輪花 F1	24:0	0:24	23:0
単色花×覆輪花 F1	23:1	0:10	22:0
単色花×覆輪花 F1	24:0	0:21	20:0
単色花×覆輪花 F1	10:14	0:16	19:5
単色花×覆輪花 F1	15:9	0:17	22:2
単色花×覆輪花 F1	9:13	0:23	20:4
覆輪花×単色花 F1	24:0	24:0	0:24
覆輪花×単色花 F1	2:19	19:5	0:20
覆輪花×単色花 F1	4:7	11:12	0:13
覆輪花×単色花 F1	24:0	19:2	0:22
覆輪花×覆輪花 F1	22:0	4:2	24:0
単色花×単色花 F1	0:24	0:6	0:18
単色花×単色花 F1	0:24	0:21	0:22
単色花×単色花 F1	0:24	0:21	0:17
単色花×単色花 F1	0:24	0:23	0:23
単色花×単色花 F1	0:24	0:24	0:24
単色花×単色花 F1	0:24	0:24	0:21
単色花×単色花 F1	0:24	0:24	0:22
単色花×単色花 F1	0:24	0:11	0:23

4. フラボノイドB-環水酸化の遺伝様式および

F1親の選抜

シアニック花の花色発現は、アントシアニンが関与しており、紫はアントシアニンのデルフィニジン配糖体、藤はシアニジン配糖体、ピンク花はペラルゴニン配糖体が主に関与していることが報告されており、アントシアニンB-環の水酸化程度がこれら花色発現に関係していることが示唆されている¹⁾。

シアニック花はこの他に赤紫、赤などの花色があり、藤は青味の強い花色から赤味の強い花色まであり、各花色でアントシアニジンが異なることが予想された。そこで各花色について、分析が容易なアントシアニンの糖の部分を除いたアントシアニジンについて分析し、花色発現とフラボノイドB-環水酸化の遺伝様式の関

係を検討した。

アジアニック花は生花卉の観察から、フラボノイドB-環水酸化の遺伝様式が優性形質か劣性形質か区別できない。一方、白色花にはアントシアニンの前駆体のフラボノール配糖体が含まれていることが知られている⁷⁾。そこでアジアニック花に含まれるフラボノールB-環の水酸化程度からフラボノイドB-環水酸化の遺伝様式を検討した。

1) 材料および方法

シアニック花には、ピンク、赤紫、藤、紫および赤色花を用い、アジアニック花には、白、黄および黄緑の単色花を用いた。

シアニック花の花弁から1%塩酸-メタノールで赤色素を抽出し、抽出物を100℃の2N-塩酸で加水分

解した^{10, 11)}。加水分解物に含まれるアントシアニジンを1.5%リン酸と水：アセトニトリル：酢酸：リン酸(107：50：40：3)の濃度勾配を使った高速液体クロマトグラフィーで分析した¹¹⁾。

また、アシアニック花の花弁より、メタノールで花色素を抽出し、アセトニトリル：水：リン酸(10：90：0.2～30：70：0.2)の濃度勾配を使った高速液体クロマトグラフィーでフラボノールを分析した^{11, 12)}。

2) 結果および考察

アントシアニジンを分析した結果、紫色花はデルフィニジンを主要色素とし、ピンク色花はペラルゴニジンを主要色素としており、Markham et.al. (1993) の報告と一致した。赤紫色花はシアニジンを主要色素として含み、赤紫の花色素発現にシアニジンが関与していることが示唆された。赤色花はペラルゴニジンを主要色素としピンク色花よりアントシアニン含量が多く、赤の花色素発現にピンク同様ペラルゴニジンが関与して

いることが考えられた。藤色花はアントシアニン含量が少なく、色調の青味の強い系統はデルフィニジンを主要色素とし、その他2系統はシアニジンを主要色素としデルフィニジンあるいはペラルゴニジンを微量色素として含むかの違いで、色調の違いに主要色素と微量色素が関与していることが示唆された(表3)。

これら花色の遺伝様式は明らかになっていないが、橋本らは、これらアントシアニジンの生合成に5種類のフラボノイドB-環水酸化酵素対立遺伝子の関与を推定し¹⁰⁾、Nilsenらはピンク色花がこれら遺伝子の転写が欠損していると報告していることから¹⁰⁾、ピンク色花はこれら遺伝子に関して劣性形質と考えられる(図3)。

従って、黄緑地にピンクの覆輪花の「秋試交1号」の育成には、片親を黄緑色花の単色花としたので、もう一方の親は白地にピンクの覆輪花固定系を用いなければならないことが明らかとなった。

表3 トルコギキョウの花色素^Z

花 色	ペラルゴニジン	アントシアニン シアニジン	デルフィニジン
紫	-	+	+++
藤 (青味)	-	t	+
藤	-	+	t
藤 (赤味)	t	+	-
赤紫	+	+++	-
ピンク	++	t	-
赤	+++	+	-

Z-：未検出、t：微量、+：少量、++：中程度量、+++：多量

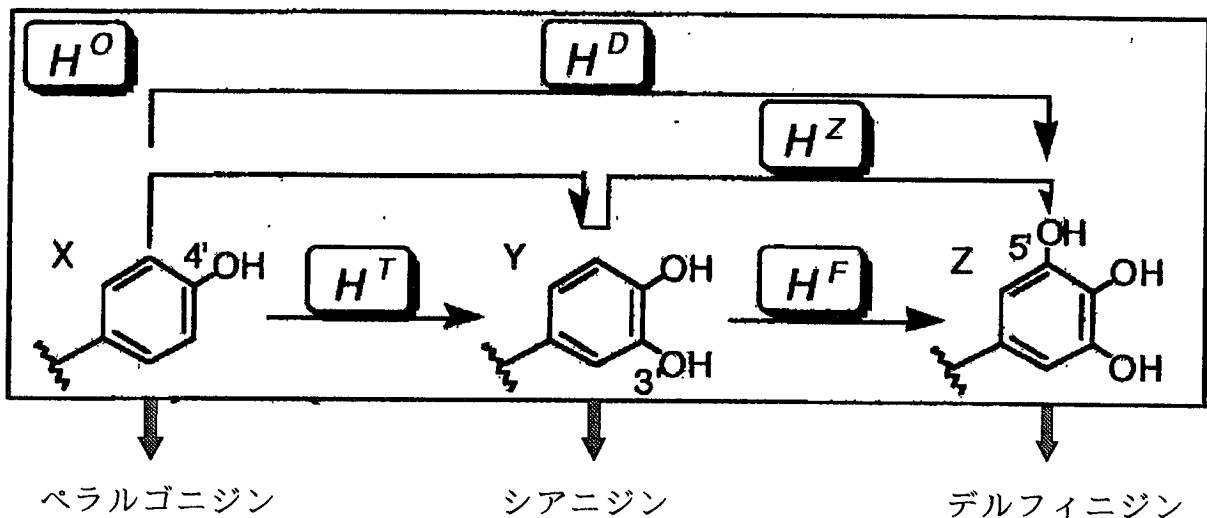


図3 トルコギキョウのアントシアニン生合成に関わるフラボノイドB-環水酸化の推定の対立遺伝子；H^T、H^F、H^O、H^D、H^Z (橋本)

次にアジアニクの単色花のフラボノールについて分析した結果、クロマトグラムからフラボノイドとしてケンフェロール配糖体と推定されるピーク2、3、4のみを含む花とこれらに加えてミリセチン配糖体と推定されるピーク1を含む花に分けられた(図4、5)。フラボノールB-環の水酸化程度からそれぞれフラボノイドB-環水酸化酵素遺伝子が劣性と考えられる花と優性のフラボノイドB-環水酸化酵素遺伝子が存在すると考えられる花とに分けられた。

そこで、「秋試交1号」の片親として、黄緑色の単色花のなかから、フラボノイドB-環水酸化酵素遺伝子が劣性と考えられる図4下図のタイプを選抜した。

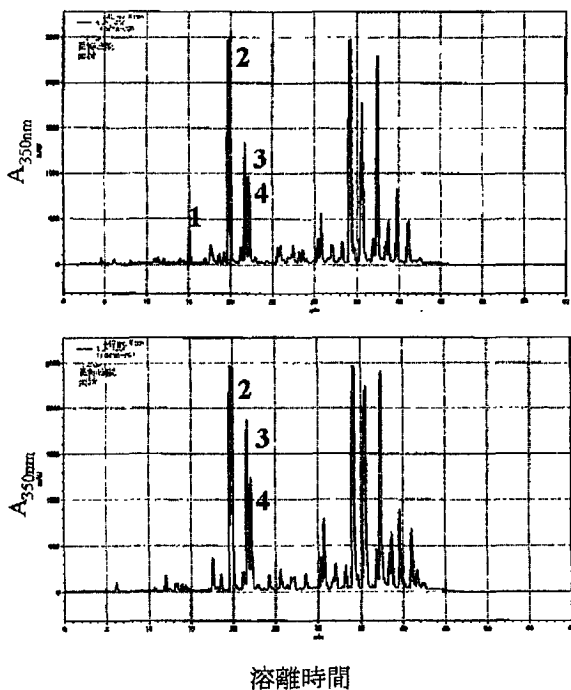


図4 アシアニク花卉抽出物のクロマトグラム

- 1: 吸収特性 λ max358nmからミリセチン配糖体と推定、
 2: 吸収特性 λ max347nmからケンフェロール配糖体と推定、
 3: 吸収特性 λ max353nmからケンフェロール配糖体と推定、
 4: 吸収特性 λ max353nmからケンフェロール配糖体と推定

表4 交雑後代の花色発現

花色系統	後代の花色 黄緑:白	検定した分離比 黄緑:白	X^2 値 ²	確率
黄緑×白 F1	24:0	1:0	0.00000	P=1.00
白×黄緑 F1	24:0	1:0	0.00000	P=1.00
黄緑 F2	16:6	3:1	0.06060	0.75 < P < 0.90
黄緑 F2	19:4	3:1	0.71011	0.25 < P < 0.50
黄緑 F2	11:4	3:1	0.22222	0.50 < P < 0.75

²カイ平方値

5. クロロフィル合成の遺伝様式および「秋試交1号」の組合せ

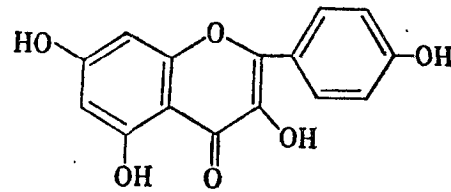
黄緑色花の花色発現はクロロフィルが関与していると考えられるが、遺伝様式など明らかにされていない。そこで黄緑色花と白色花の交雑を行い、クロロフィル合成の遺伝様式を検討した。

1) 材料および方法

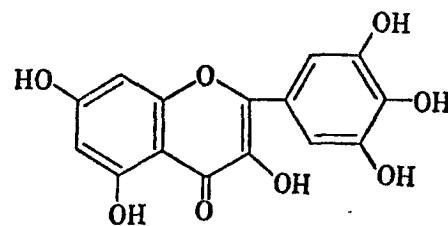
交雑を黄緑色花と白色花、黄緑色花と白地にピンクの覆輪花で行いF1およびF2の分離比を χ^2 検定で分析した。

2) 結果および考察

黄緑色花と白色花の交雑の結果、F1は黄緑色花のみ出現し、F2で黄緑色花と白色花が3:1に分離した(表4)。従って、黄緑色花はクロロフィル合成に関する遺伝子が白色花に対して優性で、黄緑色花と他の花色と交雑した後代F1で、クロロフィルが生成される。選抜した黄緑花はクロロフィル合成以外の調査した花色に関わる形質が劣性なので、様々な花色との組合せでクロロフィルを発現したF1の花色シリーズ化が可能である。



ケンフェロール



ミリセチン

図5 フラボノールの構造式

前記フラボノイド分析を活用し、選抜した黄緑花と白地にピンクの覆輪花固定系を交雑した後代の花色は、すべて黄緑地にピンクの覆輪花となることが確認できた。一方、図4上図のクロマトグラムを示す黄緑花と白地にピンクの覆輪花との交雑後代は、黄緑地に紫の覆輪花が出現した(表5)。

従って、黄緑地にピンクの覆輪花の「秋試交1号」育成のための親の組合せは、片親に覆輪形成およびフラボノイドB-環水酸化酵素遺伝子が劣性の黄緑色花、もう一方の親に白地にピンクの覆輪花固定系となることを確認した(図6)。この組合せから「秋試交1号」を育成した(図7)。

表5 交雑後代の花色発現

花色系統	後代の花色 ^Z 紫：ピンク	検定した分離比 ^Z 紫：ピンク	X ² 値 ^Y	確率
黄緑(図4下図)×白地ピンク覆輪	0：24	0：1	0.00000	P=1.00
黄緑(図4下図)×白地ピンク覆輪	0：24	0：1	0.00000	P=1.00
黄緑(図4下図)×白地ピンク覆輪	0：24	0：1	0.00000	P=1.00
白地ピンク覆輪×黄緑(図4下図)	0：24	0：1	0.00000	P=1.00
黄緑(図4上図)×白地ピンク覆輪	24：0	1：0	0.00000	P=1.00
黄緑(図4上図)×白地ピンク覆輪	16：0	1：0	0.00000	P=1.00
黄緑(図4上図)×白地ピンク覆輪	7：10	1：1	0.05882	0.75 < P < 0.90

^Z紫：黄緑地紫覆輪、ピンク：黄緑地ピンク覆輪

^Yカイ平方値

Ⅲ「秋試交2号」の育成にあたり解明した花色・花形の遺伝様式およびその組合せ

1. 緒言

秋田県のある篤農家は独自に育成した集団のなかから希少価値の高い黄色味の強いピンク色(以後、黄味ピンク色)の八重咲花を出荷していた。この集団は、花色が黄味ピンクと黄に、花形が八重咲と一重咲に分離するものであったが、固定が進まず収穫時の選別に手間がかかった。そこで、この集団の種子を譲り受け、黄味ピンク色の八重咲花「秋試交2号」の育種に取り組んだ。

これをF1で育成するには、黄色花と黄味ピンク色花の組合せが考えられるが、花色のシリーズ化を見込みながら効率的に育成するには、「秋試交1号」同様片親となるシアニック花の花色の遺伝様式を解明し、さらに八重咲および一重咲の花形の遺伝様式を解明する必要があると考えられた。

譲り受けた黄色花は、紫外光下で劣性形質の単色花であることを確認した。また黄味ピンク色花は花色からペラルゴニジン为主要色素としていと考えられ、黄色花は同じ集団の種子から分離したことにより、両花色ともフラボノイドB-環水酸化酵素遺伝子に関し

て劣性ホモに固定していると考えられた。従って、ここでは黄色花のカロチノイド生合成の遺伝様式と八重咲の遺伝様式について検討した。

2. カロチノイド生合成の遺伝様式と黄味ピンク色花F1の組合せ

黄色花の花色発現は、カロチノイドによることが1品種で報告されている⁶⁾。さらにほかの黄色花の花色発現もカロチノイドが関与している可能性があることから、黄色花について、カロチノイドの存在を調べた。さらに黄色花と白色花を交雑し、カロチノイド生合成の遺伝様式を検討した。

1) 材料および方法

交雑には黄色花および白色花を用い、F1～F3の分離比をx²検定で分析した。花色素分析には、いずれも黄色花を用いた。

黄色花の花弁からメタノールで黄色色素を抽出し、水と石油エーテルの分画後、石油エーテル画分について分光光度計で吸収スペクトルを分析し、カロチノイドの存在を推定した^{11, 15)}。

2) 結果および考察

黄色花の花弁抽出物の吸収スペクトル特性は、調査したすべての系統がカロチノイド特有の吸収特性 (λ_{\max} 417、440、468nm) を示したことから、黄色花色の発現はカロチノイドによると考えられる (図8)。

黄色花と白色花を交雑した結果、その後代は雑種1代 (F1) で白色花のみとなり、F2 で白色花と黄色花が3:1に分離し、F3 で黄色花が固定した (表6)。従って、黄色花および白色花の花色発現はキク同様カロチノイド生合成遺伝子とカロチノイド生合成を抑制する遺伝子が関与し、カロチノイド生合成遺伝子が優性でカロチノイド生合成抑制遺伝子が劣性ホモになると黄色花になると考えられる¹⁶⁾。

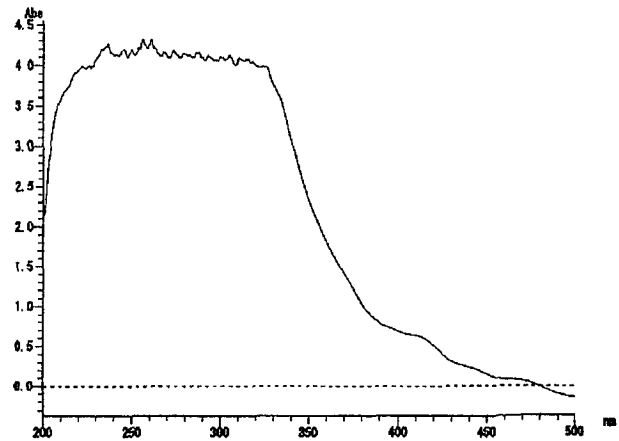


図8 黄色花弁抽出物の吸収スペクトル特性

表6 交雑後代の花色発現

花色系統	後代の花色 白:黄	検定した分離比 白:黄	χ^2 値 ²	確率
白×黄 F1	24:0	1:0	0.00000	P=1.00
黄×白 F1	24:0	1:0	0.00000	P=1.00
白×黄 F1	23:0	1:0	0.00000	P=1.00
黄×白 F1	24:0	1:0	0.00000	P=1.00
白 F2	17:5	3:1	0.06060	0.75 < P < 0.90
白 F2	21:3	3:1	2.00000	0.10 < P < 0.25
白 F2	18:6	3:1	0.00000	P=1.00
白 F2	18:6	3:1	0.00000	P=1.00
黄 F3	0:24	0:1	0.00000	P=1.00
黄 F3	0:24	0:1	0.00000	P=1.00
黄 F3	0:21	0:1	0.00000	P=1.00
黄 F3	0:23	0:1	0.00000	P=1.00
白 F3	9:0	1:0	0.00000	P=1.00
黄 F3	0:24	0:1	0.00000	P=1.00
白 F3	8:4	3:1	0.55556	0.25 < P < 0.50

Zカイ平方値

黄味ピンク色花、黄色花は共に黄色の性質があり、カロチノイドを含むと考えられ、この形質が固定しているので、カロチノイド生合成遺伝子が優性ホモで、カロチノイド生合成抑制遺伝子が劣性ホモに固定していると考えられた。従って、黄味ピンク色八重咲花の「秋試交2号」は黄色花と黄味ピンク色花の組合せと推定された。黄色花は、カロチノイド生合成遺伝子を除く調査した花色の遺伝子に関して劣性なので、F1

の花色シリーズ化の片親に利用できると考えられた。

3. 八重咲の遺伝様式と「秋試交2号」の組合せ

トルコギキョウの八重咲品種はF1の利用により100%八重咲が発現することが公表されているが、F1の組合せなど詳細は明らかにされていない¹⁷⁾。八重咲花を自殖した後代は、八重咲花と一重咲花に花形が分離し、八重咲花には花弁が萼化したような花形も出現した (以後、八重萼化花)。そこで、八重咲の組合

せを明らかにするため、花形を分類し自殖および交雑を行った。

1) 材料および方法

花形には、八重咲花、一重咲花および八重萼化花を用いた。

それぞれの花形のS1および八重萼化花と一重咲花のF1の分離比を χ^2 検定で分析した。

2) 結果および考察

八重咲花の自殖後代は八重萼化花、八重咲花、一重咲花がほぼ1:2:1に分離し、八重萼化花の自殖後代は八重萼化花で固定し、一重咲花の後代は一重咲花で固定した。八重萼化花と一重咲花の交雑後代は八重

咲花で固定した(表7)。従って、八重咲の遺伝様式は、八重萼化花が優性ホモ接合体、八重咲花がヘテロ接合体、一重咲花が劣性ホモ接合体と考えられ、F1で八重咲花を100%得るためには、八重萼化花と一重咲花の組合せと推定できた。

従って、黄味ピンク色八重咲の「秋試交2号」の親の組合せは、黄味ピンク色一重咲花と黄色八重萼化花、あるいは黄色一重咲花と黄味ピンク色八重萼化花となることが分かった(図9)。そこで未固定の集団から黄味ピンク色花について固定後、黄味ピンク色一重咲花と黄色八重萼化花の組合せから「秋試交2号」を育成した(図10)。

表7 自殖・交雑後代の花形

花形系統	後代の花形		検定した分離比	χ^2 値 ²	確率
	八重萼化:八重:一重	八重萼化:八重:一重			
八重萼化S1	18:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重萼化S1	17:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重萼化S1	18:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重萼化S1	18:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重萼化S1	18:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重萼化S1	18:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重萼化S1	18:0:0	1:0:0	1:0:0	0.00000	P=1.00
八重S1	2:8:5	1:2:1	1:2:1	1.26667	0.50 < P < 0.75
八重S1	4:7:4	1:2:1	1:2:1	0.06667	0.95 < P < 0.975
八重S1	4:8:4	1:2:1	1:2:1	0.00000	P=1.00
八重S1	8:12:5	1:2:1	1:2:1	0.76000	0.50 < P < 0.75
八重S1	4:12:6	1:2:1	1:2:1	0.54545	0.75 < P < 0.90
八重S1	7:10:5	1:2:1	1:2:1	0.54545	0.75 < P < 0.90
八重S1	6:16:7	1:2:1	1:2:1	0.37934	0.75 < P < 0.90
八重S1	7:12:8	1:2:1	1:2:1	0.39907	0.75 < P < 0.90
一重S1	0:0:17	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:17	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:19	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:18	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:27	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:24	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:23	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
一重S1	0:0:23	0:0:1	0:0:1	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:23:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:22:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:24:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:24:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:24:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:24:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00
八重萼化×一重F1	0:24:0	0:1:0	0:1:0	0.00000	P=1.00

IV 総 合 考 察

花色、花形に関する研究が進んだ結果、その育種方法や方向性が明らかになってきた。

市場によってはフラワーアレンジメントなどへの利用により、トルコギキョウのさらなる多様化が望まれており、希少種を出荷している生産者はその出荷単価につられて、一般品種でも高単価を得ている傾向がある。トルコギキョウは花色、花形以外に草型、早晩生などの形質も多様化しており、効率的に品種育成するには、これらの形質について遺伝様式を明らかにする必要がある。

一方、全般的に単価の低迷が続いており、収益を上げられる品種の育成が望まれている。秋田県のトルコギキョウ生産をさらに活性化するには、気象立地に適した収益性の高い品種育成も必要となる。収益性につ

いては、無シェード秋出荷でボリュームの取れる品種、冬期無加温で初夏および秋出荷の2度切りができる品種の育成などが期待されている。気象立地に適した品種育成は現在、交雑、自殖、選抜で維持した系統を育種に利用するに留まっているが、生態的特性に関わる形質の遺伝様式が明らかになれば、育種効率を上げることができる。生態的特性に関わる形質はポリジーンが関与していることが多く、遺伝様式の解明は容易ではないが、地域特性を活かせるので、今後明らかにすべき分野である。現在、無シェードや無加温など生育環境へ選抜圧をかけることで、生態的特性を活かせる系統の選抜を効率化できると考え、遺伝様式の解明と選抜圧をかけることの両面から育種を進めている。

V 摘 要

トルコギキョウの花色、花形の遺伝様式の一部が明らかになり、F1品種の育成および花色のシリーズ化が可能になった。これを活用し、黄緑地にピンクの覆輪花色の「秋試交1号」および黄味ピンク八重咲花の「秋試交2号」の2つの新花色F1品種を育成した。育成にあたって解明した遺伝様式や組合せは次のとおりである。

1. アントシアニン生合成の遺伝様式は、アジアニック花がシアニック花に対し劣性形質である。
2. 覆輪花形成の遺伝様式は、単色花が覆輪花に対して劣性形質で、アジアニック花から単色花を紫外光下で選抜できる。
3. フラボノイドB-環水酸化の遺伝様式は、ピンク色花が紫、赤紫および藤色花に対し劣性形質で、アジアニック花でもこの遺伝様式の優劣をフラボノイド分析により確認できる。
4. クロロフィル生合成の遺伝様式は、黄緑色花が白色花に対し優性形質である。選抜した黄緑色花は、クロロフィル生合成以外の調査した花色に関わる形質が劣性なので、クロロフィルを発現した花色シリー

ズ化のF1の片親として利用できる。

5. 単色花でフラボノイドB-環水酸化の劣性形質の黄緑色花と白地にピンクの覆輪花の組合せで、「秋試交1号」を育成した。
6. カロチノイド生合成は、カロチノイド生合成遺伝子とカロチノイド生合成抑制遺伝子が関与し、カロチノイドは優性のカロチノイド生合成遺伝子と劣性のカロチノイド生合成抑制遺伝子で生成されると考えられる。黄色花はカロチノイド生合成遺伝子以外の調査した花色に関わる遺伝子が劣性と考えられるので、花色シリーズ化のF1の片親として利用できる。
7. 八重咲の遺伝様式は、八重萼化花が優性のホモ接合体、八重咲花がヘテロ接合体、一重咲花が劣性のホモ接合体で、八重咲花は八重花萼化花と一重咲花の組合せである。
8. 黄味ピンク色花の固定後、黄味ピンク色一重咲花と黄色八重萼化花の組合せから「秋試交2号」を育成した。

引用文献

- 1) Markham, K.R., Ofman D.J. (1993) Lisianthus flavonoid pigments and factors influencing their expression in flower color. *Phytochemistry* 34 : 679-685.
- 2) 松本貴子・ウディン A.F.M. ジャマル・橋本文雄・清水圭一・坂田祐介 (2002) トルコギキョウの開花に伴う花色と花弁色素構成の変化 園芸学雑誌 71 別冊 2 : 198.
- 3) 福田直子・宮坂昌実・朽津和幸・斉藤涼子・中山真義 (2002) 紫外光を用いたトルコギキョウ白色花弁のフラボノイド含有量の簡易判別方法 園芸学雑誌 71 別冊 2 : 410.
- 4) 福田直子・大宮あけみ・伊藤佳央・小関良宏・野田尚信・菅野善明・鈴木正彦・中山真義 (2003) トルコギキョウの覆輪形成に関与するフラボノイド系色素の生合成抑制 園芸学雑誌 72 別冊 1 : 360.
- 5) 福田直子・大宮あけみ・伊藤佳央・小関良宏・野田尚信・菅野善明・鈴木正彦・中山真義 (2003) トルコギキョウの覆輪形成に関与するフラボノイド系色素の生合成抑制 植物生理学会 : 189.
- 6) 中山真義・宮坂昌実・大久保直美・福田直子 (2003) トルコギキョウ花弁の黄色発色に関与するカロチノイド 園芸学雑誌 72 別冊 1 : 298.
- 7) Asen, S., Griesbach, R.J., Norris, K.H., Leonhardt, B.A. (1986) Flavonoids from *Eustoma grandiflorum* flower petals. *Phytochemistry* 25 : 2509-2513.
- 8) Davies, K.M., Bradley, J.M., Schwinn, K.E., Markham, K.R., Podivinsky, E. (1993) Flavonoid biosynthesis in flower petals of five lines of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Grise.). *Plant Science* 95 : 67-77.
- 9) 福田直子・中山真義・宮坂昌実・朽津和幸・斉藤涼子 (2002) トルコギキョウ花弁の黄色系フラボノイドの非破壊検出法
- 10) 武田幸作・林孝三 (1988) 赤色系フラボノイド (アントシアニン) 植物色素 (林孝三編) 養賢堂 東京 : 151-174.
- 11) 安田齋 花色の生理・生化学 内田老鶴圃新社 東京.
- 12) 下郡山正巳 (1988) 黄色系フラボノイド (フラボン, フラボノール, オーロン, カルコン類) 植物色素 (林孝三編) 養賢堂 東京 : 174-201.
- 13) 橋本文雄 (2003) 花弁中のフラボノイド水酸化の複対立遺伝と花色 花き研究シンポジウム資料
- 14) Nilsen, K.M., Podivinsky, E. (1997) cDNA cloning and endogenous expression of a flavonoid 3'5'-hydroxylase from petals of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Plant Science* 129 : 167-174.
- 15) 大谷俊二・林孝三 (1988) カロチノイド植物色素 (林孝三編) 養賢堂 東京 : 205-229.
- 16) Langton, F.A. (1980) Chimerical structure and carotenoid inheritance in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Euphytica* 29 : 807-812.
- 17) 佐々木征男 (1988) ユーストマの品種改良の現状 日種協育種技術研究会シンポジウム資料 : 91-96.

Summary

Inheritance and Breeding of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*)

The partial clarification of modes of inheritance on flower colors and on flower types made the breeding of F1 hybrids and a series of flower colors possible. "Akisikou 1" a yellowish green flower with pink marginal variegation, and "Akisikou 2", a yellowish pink double flower, were developed as new flower colors of F1 hybrids by clarifying these modes of inheritance. The modes of inheritance of flower colors and the combination which were clarified during the development are as follows:

1. Acianic flowers are recessive characters to cyanic flowers in relation to the modes of inheritance in anthocyanin biosynthesis.
2. Monochromatic flowers are recessive character to marginal variegation flowers in relation to the modes of inheritance on the forming of marginal variegation; in the acianic flowers, the monochromatic flowers can be distinguished from marginal variegation flowers under UV- irradiation.
3. Pink flowers are recessive character to purple, redish purple and mauve flowers in relation to the modes of inheritance in flavonoid B-ring hydroxylation; in the acyanic flowers, the recessive characters can be distinguished from the dominant ones by flavonoid analysis.
4. In relation to the modes of inheritance in chlorophyll biosynthesis, yellowish green flowers are dominant character to white flowers, therefore, the selected yellowish green flowers can be a parent of F1 hybrids for a series of flower colors with chlorophyll because of the recessive characters on the examined flower color expression except for chlorophyll biosynthesis.
5. "Akisikou 1" was developed as a F1 hybrid crossing between a selected yellowish green flower and a fixated white flower with red marginal variegation.
6. Carotenoid biosynthesis genes and it's inhibiting genes seems to be relevant to carotenoid biosynthesis for the yellow coloring in flower : carotenoid biosynthesis seems to work under dominant condition of carotenoid biosynthesis genes and the recessive alleles of it's inhibiting gene. The yellow flowers can be a parent of F1 hybrids for a series of flower colors because of the recessive genes on the examined flower color expression except for carotenoid biosynthesis genes.
7. In relation to the modes of double flowered inheritance, double flowers with sepal-like petals are dominant homozygote, double flowers are heterozygote and single flowers are recessive homozygote: double flowers are F1 hybrids crossing between double flowers with sepal-like petals and single flowers.
8. After the fixation of the yellowish pink flowers, "Akisikou 2" was developed as a F1 hybrid crossing between a yellowish pink single flower and a yellow double flower with sepal-like petals.

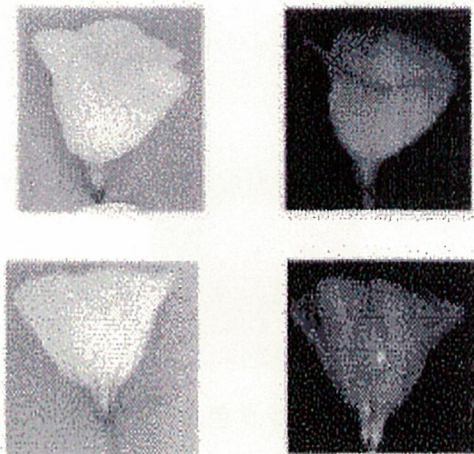


図2 白色花の可視光下（左）および紫外光下（右）（福田、中山、宮坂、朽津、齊藤、2002）
上段：覆輪花、下段：単色花

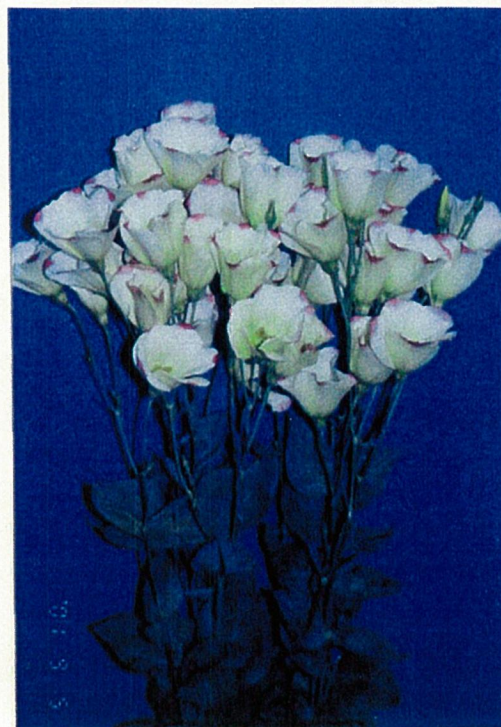
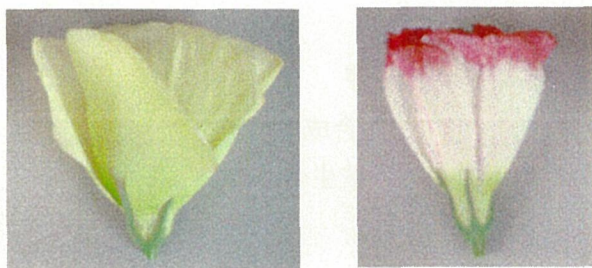


図7 「秋試交1号」



$aammfCC$ \times $AAMMffc$
 \Downarrow
 $AaMmffCc$
 黄緑地にピンクの覆輪花

図6 黄緑地にピンクの覆輪花の組合せおよび推定の遺伝子

A : 優性のアントシアニン生合成遺伝子、 a : 劣性のアントシアニン生合成遺伝子、 M : 優性の覆輪形成遺伝子、 m : 劣性の覆輪形成遺伝子、 f : 劣性のフラボノイドB-環水酸化酵素遺伝子、 C : 優性のクロロフィル生合成遺伝子、 c : 劣性のクロロフィル生合成遺伝子



×



黄味ピンク色一重咲花
(AAddYYrr)

黄色八重萼化花
(aaDDYYrr)



黄味ピンク色八重咲花
(AaDdYYrr)



×



黄色一重咲花
(aaddYYrr)

黄味ピンク色八重萼化花
(AADDYYrr)

図9 黄味ピンク色八重咲花の組合せおよび推定の花色、花形の遺伝子

A: 優性のアントシアニン生合成遺伝子、a: 劣性のアントシアニン生合成遺伝子、
D: 優性の八重遺伝子、d: 劣性の八重遺伝子、Y: 優性のカロチノイド生合成遺伝子、
r: 劣性のカロチノイド生合成抑制遺伝子



図10 「秋試交2号」